

PRODUCTIVIDAD DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CONDICIONES DE
MACROTÚNEL CON TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN

PEDRO ALEXANDER VELÁSQUEZ VASCONEZ

JUAN CARLOS MORA PORTILLA

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
PASTO - COLOMBIA

2014

PRODUCTIVIDAD DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CONDICIONES DE
MACROTÚNEL CON TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN

PEDRO ALEXANDER VELÁSQUEZ VASCONEZ

JUAN CARLOS MORA PORTILLA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Agrónomo

Presidente de Tesis

HUGO RUÍZ ERASO I.A., Ph.D

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
PASTO - COLOMBIA

2014

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1^o del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño”

NOTA de aceptación:

Firma del Presidente de Tesis

Firma Jurado Delegado

Firma Jurado Delegado

San Juan de Pasto, Marzo del 2013.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo agradecer a la asociación de agricultores Laureles del Campo, en especial a la Sra. Rafaela Meneses por su buena voluntad y colaboración.

A los grupos de investigación Cultivos Andinos y Plan de Investigación Para el Fortalecimiento Integral de las Comunidades – PIFIL por su contribución económica y logística en el desarrollo del proyecto.

A la profesora Cristina Luna, al profesor German Chaves y al profesor Marino Rodríguez por su apoyo, confianza y acompañamiento científico dedicado en todo el proceso del proyecto.

Además, un agradecimiento muy especial al Doctor Hugo Ruíz Eraso por brindarme sus conocimientos y valores que han contribuido a mi formación científica y profesional.

Dedico A:

A mis padres,

Por brindarme la increíble experiencia de estar vivo

PEDRO ALEXANDER VELÁSQUEZ VASCONEZ

PRODUCTIVIDAD DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CONDICIONES DE
MACROTÚNEL CON TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN¹

PRODUCTIVITY OF LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) IN HIGH TUNNEL CONDITIONS
WITH THREE LEVELS OF FERTILIZATION¹

Pedro Velásquez V², Juan Mora P², Hugo Ruíz E³, German Chaves J⁴, Cristina Luna C⁵

RESUMEN

La investigación se realizó en la vereda San Felipe, en el municipio de Pasto-Nariño, en un suelo Vitric Haplustands; se evaluó la productividad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Batavia bajo condiciones de macrotúnel con tres niveles de fertilización: alto 115, 69, 210 kg/ha (N, P, K), medio 69, 23, 150 kg/ha (N, P, K) y bajo 46, 11.5, 90 kg/ha (N, P, K). El macrotúnel fué construido con arcos de bambú y una cubierta plástica para invernaderos. El ensayo se estableció en un diseño de bloques completos al azar con arreglo de franjas divididas. Las variables evaluadas fueron: peso de cabeza, porcentaje de materia seca (aérea y de raíz), diámetro de cabeza, días a cosecha y rendimiento. Además, se realizó un análisis económico para las variables que presentaron diferencias significativas. Todas las variables presentaron un mejor comportamiento en el cultivo de lechuga bajo condiciones de

¹Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. 2014.

²Estudiantes de Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. 2014. E-mail alex_oparin@hotmail.com/ ethan-ikari@hotmail.com

³Profesor Tiempo completo. I.A., Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 2012. E-mail hugoruize@yahoo.com

⁴Profesor Hora Cátedra Asociado. I.A., Esp. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. E-mail g-ch-j@hotmail.com

⁵Profesor Tiempo Completo. I.A., Esp. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. E-mail grupopifil@gmail.com

macrotúnel, a excepción del porcentaje de materia seca aérea que no presentó diferencias significativas en ninguno de los tratamientos. No se presentaron diferencias estadísticas para ninguna de las variables en respuesta a las dosis de fertilización alto, medio y bajo (N, P, K). Se obtuvieron mayores utilidades en el cultivo de lechuga en macrotúnel con 11.278 pesos/m² y una rentabilidad de 507%.

Palabras claves: Rentabilidad, arcos de bambú, cubierta plástica, invernaderos

ABSTRACT

The research was conducted in the hamlet of San Felipe, in the municipality of Pasto, Nariño, on Vitric Haplustands soil, the productivity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) var. Batavia under high tunnel with three fertilization levels were evaluated: high 115, 69, 210 kg/ha (N, P, K), medium 69, 23, 150 kg/ha (N, P, K) y low 46, 11.5, 90 kg/ha (N, P, K). The high tunnel was built with bamboo bows and a plastic cover for greenhouses. The trial was established in a split plot design under randomized complete blocks. The variables evaluated were: head weight, % dry matter (aerial and root), head diameter, days to harvest and yield. In addition, an economic analysis for the variables that showed significant differences was performed. All variables presented better performance in growing lettuce under conditions of high tunnel, except percent air dry matter did not present statistically significant differences in any of the treatments. No statistical differences occurred in any of the variables of response to high, medium and low (N, P, K) doses of fertilization. Higher earnings in growing lettuce in high tunnel with 11278 pesos/m² and profitability of 507% were obtained.

Key words: *Profitability, Bamboo bows, plastic cover, greenhouses*

CONTENIDO

| | |
|-----------------------------|----|
| RESUMEN..... | 8 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 11 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 15 |
| CONCLUSIONES..... | 24 |
| AGRADECIMIENTOS..... | 24 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 25 |
| CIBERGRAFÍA..... | 27 |

INTRODUCCIÓN

Según Castilla (2007), el cultivo protegido es un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio edafoclimático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica).

El mismo autor manifiesta que mediante estas técnicas de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural para prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar los rendimientos y mejorar su calidad, estabilizar las producciones y disponer de productos cuando la producción al aire libre se encuentre limitada.

Al respecto Alpi y Tognoni (2010), menciona que la tendencia que existe desde hace varios años en el campo de los cultivos hortícolas es hacia la producción anticipada o totalmente fuera de estación (cultivos semiforzados y forzados). Estas instalaciones pueden ser muy diversas y a grandes trazos, una primera clasificación puede hacerse entre túneles, cajoneras o semilleros, e invernaderos.

En muchas partes del mundo, los túneles altos son hechos de tubos de PVC o tubería galvanizada de espesor variante, este depende de la durabilidad de la estructura y también de la cantidad de viento que se experimente en la región. En India, los túneles altos son contruidos de marcos de bambú fornidos y se cubren con una sola película plástica en la cima y yute en los lados que excluyen a los insectos y permite un poco de ventilación (Lamont, 2009).

Los macrotúneles se han convertido en una característica importante de los sistemas intensivos de producción hortícola en varios lugares alrededor del mundo (Jensen, 2000) y pueden mejorar el rendimiento y la calidad de los cultivos por proporcionar condiciones más favorables de crecimiento (Wells, 2000; Wells y Loy, 1993). Al respecto Lamont (2009), señala que la lechuga (*L. sativa*) es el quinto cultivo que se produce en macrotúneles en todo el mundo.

Por otro lado, Luna (2001), manifiesta que la agricultura colombiana se ha visto afectada por las disminuciones de la productividad en las zonas hortícolas, caracterizada por el aumento en los costos de producción, dependencia de insumos externos, viéndose reflejada en la disminución de la calidad de vida de los agricultores e irreversibles pérdidas de tipo ambiental por el uso indiscriminado de productos químicos. En este sentido, en Colombia, el cultivo de lechuga revela una disminución en rendimiento de 7,7% y un descenso en la producción del 40,1% para el año 2010 (AGRONET, 2012). Bajo este contexto, la presente investigación busca evaluar la productividad en el cultivo de lechuga (*L. sativa* L.) var. Batavia bajo condiciones de macrotúnel con tres niveles de fertilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La vereda San Felipe está ubicada en la zona centro occidental del municipio de Pasto, faldas del volcán Galeras, a 5 km de la ciudad. Se encuentra a una altura de 2710 msnm, con una precipitación promedio anual de 840 mm, y una temperatura promedio de 13 °C. Los suelos de esta zona corresponden a una consolidación Vitric Haplustands fase moderadamente inclinada, originados de cenizas volcánicas que yacen sobre tobas de ceniza y lapilli; son muy profundos y moderadamente profundos, bien drenados y de fertilidad alta y moderada (IGAC, 2004). La investigación se llevó a cabo en el semestre A del año 2013.

Diseño y construcción del macrotúnel

En el predio de la Sra. Rafaela Meneses, se seleccionó un área de 80 m², de la cual 32 m² se destinaron para la construcción del macrotúnel y 32 m² para el lote testigo, cultivo a campo abierto. Las dimensiones fueron de 8 m de largo y 4 m de ancho para los dos sitios. Las dos divisiones anteriores fueron separadas por una franja de 16 m² (8 m de largo y 2 m ancho).

Estructura del macrotúnel. Se utilizaron 12 varas bambú seco de 6 m de largo y 12 codos de hierro de 1”1/2 pulgada y media de diámetro para la construcción de la estructura. Con polipropileno se delimitó el lote de 8 m de largo por 4 m de ancho para la construcción del macrotúnel. Se cortaron 12 varas de bambú de 1.5 m de largo y se colocaron a lo largo del lote, seis en cada lado hasta completar los 8 m de largo. Las varas se enterraron 0.5 m sobre la superficie del suelo y se distanciaron a 1.6 m, entre vara y vara.

En la parte superior de las columnas de bambú se colocaron codos de hierro de 15 cm de largo y de 1”1/2 pulgada y media de diámetro. Luego, los arcos de bambú de 4 m de ancho y 1 m de alto, se insertaron en los codos de hierro. El bambú se aseguró a los codos de hierro con tornillos drywall de 1 pulgada de largo. Los arcos de bambú se realizaron con varas de 5.5 m de largo sometiénolas al calor y arqueándolas hasta que tomaron las dimensiones de 4 m de ancho por 1 m de alto.

Cubierta del macrotúnel. Al finalizar la construcción de la estructura, se cubrió con plástico para invernadero calibre 8 de 9 m de ancho y 9 m de largo. El plástico se aseguró a la estructura con grapas en los dos extremos de la estructura. En cada lado de la estructura se instalaron dos puertas de 1 m de ancho y 1.5 m de alto para manejar las condiciones ambientales del macrotúnel. Las dimensiones finales del macrotúnel fueron de 2 m de alto en el centro, 4 m de ancho y 8 m de largo (Figura 1).

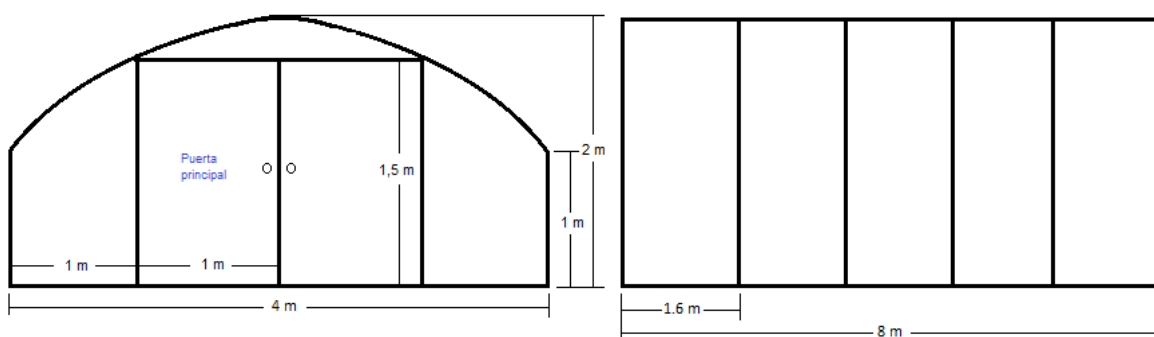


Figura 1. Planos de la estructura del macrotúnel

Labores culturales

Preparación de suelo. Se tomó una muestra de suelo para llevar al laboratorio de la Universidad de Nariño, donde se realizó el análisis de suelos para determinar el contenido de nutrientes disponibles. La preparación del terreno se trabajó de forma manual, se trazaron tres camas en el interior del macrotúnel y tres camas en campo abierto, con las siguientes dimensiones: 1 m de ancho, 8 m de largo y 0.20 m de altura.

Siembra y trasplante. Se utilizaron en total 288 plántulas de lechuga (*L. sativa* L.) var. Batavia. 144 plántulas en el cultivo bajo condiciones de macrotúnel y 144 plántulas en el testigo cultivo a campo abierto. En cada una de las tres camas se trazaron tres líneas donde se trasplantaron 16 plántulas en cada línea. La distancia entre líneas fué de 35 cm y entre plantas 40 cm. Se utilizaron 12 plantas por unidad experimental. Las plántulas que se llevaron al sitio definitivo tenían 30 días de sembradas en bandejas de germinación.

Manejo agronómico del cultivo. Se realizó el control manual de malezas, eliminando las que se encontraron cerca de la planta. En cuanto a plagas y enfermedades se realizó un manejo integrado teniendo en cuenta que la medida de control no superó el costo del daño económico.

Se instaló un sistema de riego por goteo que se compone de 12 cintas de riego de 1 pulgada de diámetro (dos por cada cama) insertadas con conectores independientes a una tubería de 2 pulgadas de diámetro. Durante todo el ciclo del cultivo se utilizaron alrededor de 400 mm de agua según lo recomienda el (ICA, 1996)

Registro de las condiciones ambientales

Las lecturas de temperatura, humedad relativa y concentración de CO₂ se registraron con el sensor de concentración de CO₂ (Ref:CO200 Tecnología NDIR Infrarrojo no dispersivo); los datos se tomaron semanalmente en el interior y en el exterior del macrotúnel. La resistencia mecánica de las capas superficiales del suelo se registró con el penetrómetro (DIK-5561, Daikirikakogyo Co., Ltd. Tokio, Japón) solicitado a CIAT, al finalizar el ensayo en el suelo a campo abierto y en el suelo bajo condiciones de macrotúnel.

Variables de respuesta del cultivo

Peso de la lechuga (PL). Se tomaron los pesos individuales de 10 plantas de lechuga por cada tratamiento, cuando más del 50% de las plantas de lechuga se encontraron en el punto de madurez de cosecha. Para lo anterior, se utilizó una balanza en el lugar de la investigación que se solicitó previamente a los laboratorios de la Universidad de Nariño.

Días a cosecha. Se contaron los días que tardaron las plantas de cada tratamiento en llegar a la formación de la cabeza compacta, para lo cual se llevó un registro de la fecha del día del trasplante hasta la fecha del día de la cosecha.

Diámetro de la cabeza (cm). Se tomó la medida de la longitud del plano ecuatorial con una cinta métrica, cuando se formó la cabeza compacta en más del 50% de las lechugas, a

los 74 días después del trasplante en el macrotúnel y a los 87 días después del trasplante en el cultivo a Campo abierto. Posteriormente, se calculó el diámetro con la fórmula.

$$D = C/\pi$$

D = Diámetro de la cabeza

C = Longitud de la circunferencia

Porcentaje de materia seca de la parte aérea (%MSA) y Raíz (%MSR). De las 12 unidades experimentales del área útil, se tomaron dos plantas de lechuga cuando se formó la cabeza compacta. Se tomó de cada planta su respectiva raíz para evaluación. La selección se realizó al azar y estas se llevaron en bolsas de papel al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de Nariño. Se tomó su peso fresco para luego secar a 65 °C por 72 horas, posteriormente se pesaron para obtener el peso seco y así se calculó el porcentaje de materia seca.

Rendimiento. Se pesaron las 12 unidades experimentales en el momento de la formación de la cabeza en el lugar de la investigación, los valores de peso se tomaron con una balanza electrónica, para posteriormente calcular el rendimiento (kg/m^2), dividiendo el peso de las 12 unidades experimentales (kg) entre el área útil de cada tratamiento (1.6 m^2).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA) en un arreglo de franjas divididas con 6 tratamientos y tres repeticiones. Las dos franjas principales se establecieron por las condiciones de macrotúnel y por el cultivo a campo abierto, la sub-franja correspondió a los niveles de fertilización N,P,K, Alto (115, 69, 210 kg/ha), N,P,K, Medio (69, 23, 150 kg/ha) y N,P,K, Bajo (46, 11.5, 90 kg/ha) (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de los tratamientos con dos condiciones de cultivo (macrotúnel-campo abierto) y tres niveles de fertilización N,P,K, Alto (115, 69, 210 kg/ha), N,P,K, Medio (69, 23, 150 kg/ha) y N,P,K, Bajo (46, 11.5, 90 kg/ha)

| Franja principal | Tratamientos | Condiciones de cultivo | Nivel de Fertilización (Sub-franja) |
|------------------|--------------|------------------------|-------------------------------------|
| Franja | 1 | Macrotúnel | Alto (115, 69, 210 de N,P,K, kg/ha) |

| | | | |
|---------------------|---|---------------|--------------------------------------|
| principal | 2 | Macrotúnel | Medio (69, 23, 150 de N,P,K, kg/ha)* |
| (32m ²) | 3 | Macrotúnel | Bajo (46, 11.5, 90 de N,P,K, kg/ha) |
| Franja | 4 | Campo abierto | Alto (115, 69, 210 de N,P,K, kg/ha) |
| principal | 5 | Campo abierto | Medio (69, 23, 150 de N,P,K, kg/ha)* |
| (32m ²) | 6 | Campo abierto | Bajo (46, 11.5, 90 de N,P,K, kg/ha) |

*Testigo, nivel de fertilización recomendado (Lara y Vallejo, 2010)

Análisis de variables de respuesta. Las variables de respuesta se sometieron al Análisis de Varianza. Aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas significativas en el ANDEVA se les realizó la prueba de comparaciones múltiples de medias que se evaluó a través de la prueba de Tukey al 95% y al 99% de probabilidad.

Análisis económico

Se utilizó la metodología propuesta por CIMMYT (Perrin, *et al.* 1976), para determinar cuál de los tratamientos generaron las mejores condiciones económicas para lo cual se realizó un análisis económico comparativo de rendimientos y costos de producción (t/ha) para cada tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a cosecha (DC)

Al realizar el Análisis de Varianza (Tabla 2), indica que se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas para la variable días a cosecha por el tipo de ambiente (macrotúnel – campo abierto) en el cultivo de lechuga.

Tabla 2. Cuadrado medio de las variables: Días a cosecha (Dcos), % de materia seca aérea (%MSA), % de materia seca raíz (%MSR), diámetro de cabeza (DC), peso de lechuga (PL) y rendimiento (R), para la lechuga cultivada en condiciones de macrotúnel con tres niveles de fertilización

| FV | Dcos | %MSA | %MSR | DC | PL | R |
|--------|-------|------|-------|------|------|------|
| Modelo | 92.15 | 0.36 | 19.14 | 6.86 | 0.27 | 9.73 |

| | | | | | | |
|------------------------|-----------|--------|----------|--------|--------|--------|
| Ambiente | 826.89*** | 0.04ns | 118.63** | 47.89* | 1.9* | 68.45* |
| Fertilización | 0.06ns | 0.39ns | 3.41ns | 2.42ns | 0.09ns | 3.16ns |
| Ambiente*Fertilización | 0.06ns | 0.31ns | 14.21ns | 3.48ns | 0.08ns | 2.95ns |
| CV | 1.11 | 9.95 | 14.04 | 4.89 | 8.33 | 8.33 |

* Diferencia significativa ($p \leq 0.05$), ** Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$),

*** Diferencia altamente significativa ($p \leq 0.001$), ns - No significativo

En la Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 3), se observa que la mayor precocidad se alcanza en el cultivo bajo cubierta debido a que las plantas presentaron madurez de cosecha a los 74 días después del trasplante, a diferencia de los 87 días en el cultivo a campo abierto. Los resultados concuerdan con los manifestados por Velásquez y Cárdenas (2011), donde aseguran que el cultivo de lechuga bajo cubierta reduce el tiempo de cosecha en 12 días, lo que permite obtener hasta 5 cosechas en un año, una más en comparación con el cultivo a campo abierto.

Tabla 3. Prueba de Tukey para las parcelas principales de las variables: Días a cosecha (Dcos), % de materia seca aérea (%MSA), % de materia seca raíz (%MSR), diámetro de cabeza (DC), peso de lechuga (PL) y rendimiento (R), evaluadas para el cultivo de lechuga en condiciones de macrotúnel y campo abierto.

| Parcela Principal | Dcos (Días) | %MSA (%) | %MSR (%) | DC (cm) | PL (kg) | R (kg/m ²) |
|-------------------|----------------|-------------|-------------|------------|------------|---------------------------|
| Macrotúnel | 74.33b | 5.22a | 15.66a | 20.33a | 2.24a | 13.46a |
| Campo abierto | 87.89a | 5.17a | 10.53b | 17.07b | 1.59b | 9.56b |
| DMS | 1.72 | 1.73 | 1.54 | 1.93 | 0.58 | 3.52 |

Letras distintas indican diferencias significativas a (≤ 0.05)

Al respecto, Hunter (2010), menciona que los túneles altos se han utilizado para aumentar efectivamente los periodos de cosechas en el año para numerosos cultivos. Además, una ventaja de los cultivos que se obtienen fuera de temporada es que demandan un incremento de precio cuando se venden en los mercados directos (Foord, 2004).

Randin *et al.* (1999) señala que el cultivo protegido tiene la capacidad de disminuir la fase de crecimiento en plantas de lechuga, lo cual se debe probablemente a la acumulación de

calor en el interior del macrotúnel donde se registra una temperatura promedio de 25.9 °C en el día, 9.5 °C más que en el cultivo a campo abierto 16.4 °C (Tabla 4). De acuerdo con la ley de Van't Hoff, la velocidad de una reacción química aumenta el doble por cada 10 °C de elevación de temperatura. Por su parte, Degiovanni *et al.* (2010), menciona que en arroz, el crecimiento vegetal sigue la ley de Van't Hoff cuando la temperatura se encuentra entre los 10°C y los 30°C.

Tabla 4. Promedio de temperatura (°C), humedad relativa (%HR) y concentración de CO₂ (ppm) para el microclima del macrotúnel y las condiciones de campo abierto.

| Tiempo de registro | Condiciones | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%HR) | Concentración de CO ₂ (ppm) |
|-----------------------|---------------|------------------|------------------------|--|
| Promedio día | Campo abierto | 16.4 | 72 | 436 |
| | Macrotúnel | 25.9 | 55 | 423 |
| Promedio noche | Campo abierto | 10.3 | 91 | 471 |
| | Macrotúnel | 10.9 | 89 | 466 |

Por otro lado, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en la variable días a cosecha en los tratamientos de niveles de fertilización ni para la interacción del ambiente dosis de fertilización (Tabla 2), por lo tanto, es posible que la fertilización no esté involucrada en la precocidad del cultivo de lechuga. Por su parte Chimenti (1999), evaluó el efecto de la fertilización orgánica comparada con una mixta y convencional, en tres variedades de lechuga bajo invernadero y no manifiesta respuesta estadística significativa en precocidad por efecto de la fertilización aunque si por el tipo de variedad cultivada.

Porcentaje de materia seca aérea (%MSA) y raíz (%MSR)

El Análisis de Varianza (Tabla 2) indica que para el porcentaje de materia seca de la parte aérea no se encontraron diferencias significativas para el cultivo de lechuga en los dos tipos de ambiente ni para los niveles de fertilización. El promedio del porcentaje de materia seca de la parte aérea fué de 5,22% bajo cualquier de los seis tratamientos propuestos. Al

respecto, Alzate y Loaiza (2010), reportan que el porcentaje de agua en las plantas de lechuga es alrededor de 94%.

Por otra parte, se observó que las condiciones del macrotúnel promueve el crecimiento de la hoja expandiendo la lámina foliar e induce a las plantas de lechuga a que produzcan una mayor cantidad de hojas. En este sentido, Santos *et al.* (2009), sustenta que desde los 28 días después del trasplante las plantas de lechuga aumentan un 54.2% su área foliar y desde los 14 días después del trasplante incrementan un 64.18% en el número de hojas, en plantas evaluadas bajo condiciones protegidas en comparación con el cultivo a campo abierto.

Por otro lado, para los valores de porcentaje de materia seca de raíz se determinaron diferencias estadísticas altamente significativas para la lechuga cultivada en macrotúnel. La Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 3), revela que el porcentaje de materia seca de la raíz en el cultivo de lechuga bajo condiciones de macrotúnel, alcanza un 15.66% mientras que en el cultivo a campo abierto se obtuvo un 10.53%.

Este aumento del 5.13% en la materia seca de la raíz puede ser causado posiblemente por el incremento en la asimilación, translocación y utilización de fósforo debido al aumento de temperatura en el suelo. El fósforo es esencial para los procesos de fotosíntesis y de respiración, así como para la formación de metabolitos responsables del transporte de energía en forma de ATP y NADPH (Ripley *et al.*, 2004); Al respecto, Russo y Pappelis (1995), reportan que el fósforo promueve una mayor elongación y producción de pelos radicales que conducen al incremento del peso seco de la planta.

Diámetro de cabeza (DC)

Para la variable de diámetro de cabeza, en el Análisis de Varianza (Tabla 2), se observa diferencias significativas en cuanto al cultivo de lechuga en los dos tipos de ambiente (macrotúnel – campo abierto). La Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 3), revela que el mayor diámetro de cabeza se obtuvo en el cultivo de lechuga bajo condiciones

de macrotúnel con 20.33 cm en comparación con el cultivo a campo abierto con 17.07 cm. Domínguez (2002), manifiesta que la lechuga bajo cubierta en microtúneles presenta un diámetro de cabeza 11% mayor comparado con el testigo a campo abierto.

El incremento del diámetro de cabeza en 16%, en el cultivo bajo cubierta, puede posiblemente estar vinculado a la disminución de la humedad relativa del interior del macrotúnel donde se registró un promedio de 55 % en comparación con el testigo a campo abierto 72%. Al respecto, Albright (2004), señala que la humedad del aire está relacionada con la velocidad de transpiración de la planta, y que ante una elevada humedad relativa la planta transpira poco lo que reduce el transporte de nutrientes desde las raíces hacia las hojas.

Por otro lado, es importante destacar que la temperatura es un factor clave para la formación y calidad de la cabeza de la planta de lechuga. En la variedad Batavia temperaturas muy fuertes en el día y cálidas en la noche promueve el crecimiento excesivo de hojas y retrasa o inhibe la formación de la cabeza (Velásquez y Cardenas, 2011). Estudios realizados por Segovia *et al.* (1997), demuestran que la temperatura provoca una influencia directa en los órganos de esta especie. Debido a lo anterior, las puertas de la estructura se abrieron al medio día en días soleados y al finalizar la tarde, desde los 30 días después del trasplante.

No se encontraron diferencias estadísticas para los niveles de fertilización ni para la interacción de ambiente por niveles de fertilización (Tabla 2). Los resultados indican que la menor dosis de fertilización (46, 11.5, 90 de N,P,K, kg/ha) es suficiente para alcanzar valores iguales estadísticamente en diámetro de cabeza para los niveles de fertilización.

El promedio de diámetro de cabeza fue mayor en el macrotúnel (20 cm) que en campo abierto (17 cm). Añez y Tavira (1981), demostraron que la absorción de N en forma de NO_3^- y de NH_4^+ aumenta al pasar la temperatura del aire de 8 a 23°C.

Peso de la lechuga (PL)

En el Análisis de Varianza en la (Tabla 2) se puede observar que para la variable peso de lechuga se encontraron diferencias significativas en cuanto al cultivo de lechuga en los dos tipos de ambiente. La Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 3) establece que el mayor peso de la lechuga se obtuvo en el cultivo bajo condiciones de macrotúnel con un promedio de 2.24 kg/planta en comparación con el testigo (cultivo a campo abierto) con un promedio de 1.59 kg/planta. El incremento en el peso de la lechuga fue del 28.9%. Resultados similares son reportados por Rader y Karlsson (2006), quienes manifiestan que la lechuga cultivada en macrotúnel incrementa en un 49,23% de su peso en comparación con el cultivo a campo abierto. Al respecto, la acumulación de calor en el interior de un invernadero promueve el calentamiento de la zona radicular y como consecuencia se incrementa la acumulación de biomasa y la absorción de nutrientes de la lechuga (Economakis, 1997; Moorby y Graves, 1980).

No se encontraron diferencias estadísticas significativas para los niveles de fertilización ni para la interacción del ambiente por las dosis de fertilización. Los resultados indican que se puede obtener plantas de lechuga con pesos estadísticamente iguales con la menor dosis de fertilización (46, 11.5, 90 de N,P,K, kg/ha) en cualquiera de los dos ambientes, macrotúnel y campo abierto. Los valores de biomasa en las plantas de lechuga cultivadas en condiciones de macrotúnel puede ser provocado por la mayor asimilación y utilización de los nutrientes (Santos *et al.*, 2009) mejorando la eficiencia de los fertilizantes químicos y aminorando la dependencia de los mismos.

Castro (1998), Guerrero (1990) y Bertsch (2003) concuerdan con los resultados de este ensayo en que el cultivo de lechuga a campo abierto requiere bajos niveles de fósforo 28 kg/ha de P_2O_5 , mas difieren en dosis de Nitrógeno 45 kg/ha y potasio 208 kg/ha de K_2O para una producción de 40 t/ha

Rendimiento (R)

Al realizar el Análisis de Varianza (Tabla 2) se presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto al cultivo de lechuga bajo condiciones de macrotúnel y a campo abierto. La Prueba de Comparación de Medias de Tukey (Tabla 3), revela que el mayor

rendimiento se obtuvo en el cultivo de lechuga bajo condiciones de macrotúnel con 13.46 kg/m² en contraste con el cultivo a campo abierto con 9.56 kg/m², de tal manera que se obtuvo un incremento de 28.9% en rendimiento. Los resultados obtenidos se comportaron de igual manera que los reportados por Domínguez (2002), donde manifiesta un incremento en el 100% en rendimiento en el cultivo de lechuga en microtúneles en comparación con el testigo. Por otro lado, Goto *et al.* (2000), reporta que las especies de lechuga producidas bajo cultivo protegido muestran que a pesar de la reducción del ciclo, las plantas presentan mayor acumulación de biomasa, cuando se compara con el cultivo a campo abierto.

Lo anterior probablemente se debe a las condiciones más favorables de temperatura y humedad relativa que se presentan en el interior del macrotúnel que favorecen la fotosíntesis y protegen al cultivo de las condiciones adversas del clima. Se ha demostrado que el calentamiento de la zona radicular compensa el efecto perjudicial de las temperaturas de aire frío (<16 ° C) para las plantas de invernadero (Shedlosky y White, 1987).

Por otro lado, no se determinaron diferencias estadísticas para los niveles de fertilización ni para la interacción del ambiente por los niveles de fertilización (Tabla 2); de tal manera que se obtuvieron rendimientos estadísticamente iguales, en el cultivo de lechuga con los tres niveles de fertilización alto (115, 69, 210), medio (69, 23, 150), bajo (46, 11.5, 90) kg/ha de N, P, K.

Los valores de rendimiento observados no concuerdan con los reportados por Lara y Vallejo (2010), donde manifiestan que con la aplicación de 60, 23, 150 kg/ha de N, P, K, se obtiene un rendimiento estadísticamente superior a la dosis baja 46, 11.5, 90 kg/ha de N, P, K. Es posible que el efecto de la fertilización en condiciones de campo abierto sea inhibido por problemas de encostramiento.

Valores de resistencia a la penetración fueron tomados al finalizar el ensayo, donde se registró mayor resistencia mecánica a la penetración de suelo en campo abierto (1447 kpa) que en el suelo donde estaba protegido por la estructura del macrotúnel (408 kpa). La formación de capas compactas, el sellamiento y encostramiento superficial, son condiciones que pueden llevar a una baja infiltración de agua en el perfil y a generar problemas de

erosión que no permiten a los cultivos expresar su potencial genético, afectando con ello la productividad (Amézquita, 1994; Amézquita *et al.*, 2002).

ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizó un análisis económico a los tratamientos de sistema de cultivo bajo cubierta en macrotúnel y el sistema de cultivo a campo abierto; los dos con la menor dosis de fertilización (46, 11.5, 90 de N, P, K.). Para calcular la amortización de la estructura del macrotúnel se estimó una vida útil de 4 años (Tabla 5).

Tabla 5. Costos de producción de lechuga cultivada a campo abierto y en condiciones de macrotúnel

| Costos de Producción | Campo abierto (Pesos) | Macrotúnel (Pesos) |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Labores | | |
| Preparación semillero | 3.000 | 3.000 |
| Trasporte fertilizante | 3.900 | 3.900 |
| Trasporte cosecha | 10.000 | 10.000 |
| Implementación sistema de riego | 12.000 | 12.000 |
| Total labores | 28.900 | 28.900 |
| Insumos | | |
| Fertilizante | 3.000 | 3.000 |
| Semilla | 2.000 | 2.000 |
| Total insumos | 5.000 | 5.000 |
| Sistema de Riego | | |
| Cinta de goteo | 30.000 | 30.000 |
| Conectores | 24.000 | 24.000 |
| Tubería principal | 30.000 | 30.000 |
| Total sistema de Riego | 84.000 | 84.000 |
| Amortización 2 Años | 10.500 | 8.400 |
| Macrotúnel | | |
| Varas de Bambú | | 120.000 |
| Plástico calibre 8 | | 180.000 |

| | | |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| Grapas | | 10.000 |
| Bisagras | | 4.000 |
| Codos de hierro | | 30.000 |
| Guaduas | | 32.000 |
| Total Macrotúnel | | 376.000 |
| Amortización 4 años | | 18.800 |
| COSTOS TOTAL POR CICLO | 44.400 | 61.100 |
| COSTO TOTAL POR AÑO | 177.600 | 244.400 |

Los costos se realizaron con base en el área de la franja principal (32 m²)
SMMLV/2014 \$ 616.500 MCT

Los resultados indican que se alcanzaron mayores utilidades para el primer año con el cultivo de lechuga bajo cubierta en macrotúnel con 32620 pesos por cada m² en comparación con el cultivo a campo abierto donde se presentaron utilidades de 7.974 pesos por cada m².(Tabla 6).

Tabla 6. Análisis económico de la producción de lechuga a campo abierto y bajo condiciones de macrotúnel

| Condiciones del cultivo | Rendimiento (kg/m ²) | Rendimiento (kg/m ² /año) | Ingresos 1000 pesos/kg/año | Costos (pesos/m ²) | Utilidades (pesos/m ² /año) | Rentabilidad (%) |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--|------------------|
| Campo abierto | 9.56 | 38.24 | 38.240 | 5.550 | 32.620 | 588 |
| Macrotúnel | 13.46 | 53.84 | 53.840 | 7.637 | 46.203 | 605 |

Es importante resaltar que los dos sistemas de cultivo presentan excelentes rentabilidades. La mayor rentabilidad se genera en el sistema de cultivo bajo condiciones de macrotúnel (605%) en comparación con la producción de lechuga a campo abierto (588%); además, la lechuga que proviene de condiciones protegidas se caracteriza por tener mayor aceptación en el mercado, mejores precios y se puede obtener el producto en un periodo corto de tiempo. Además, la inversión que se realiza en la siembra y el mantenimiento del cultivo, se encuentra protegida de pérdidas causadas por las adversidades del clima.

CONCLUSIONES

El cultivo en macrotúnel permite conquistar mejores alternativas de mercado porque se obtiene la producción de lechuga en un periodo de tiempo más corto además, aumenta el diámetro de cabeza, el porcentaje de materia seca de raíz, e incrementa el peso y el rendimiento, en comparación con la alternativa tradicional, cultivo a campo abierto.

Se obtuvieron valores estadísticamente iguales en las variables evaluadas con los tres niveles de fertilización en los dos ambientes (macrotúnel - campo abierto), por lo tanto la menor dosis de N,P,K, es suficiente para alcanzar la mejor rentabilidad en el cultivo de lechuga bajo las condiciones de este estudio.

La tecnología del macrotúnel se presenta como una oportunidad para mejorar la rentabilidad del cultivo de lechuga, principalmente en los agricultores de pequeña escala y además, fortalece la seguridad alimentaria porque les permite cultivar casi cualquier tipo de hortaliza promoviendo la autosuficiencia del agricultor.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo agradecer a la asociación de agricultores Laureles del Campo, en especial a la Sra. Rafaela Meneses por su buena voluntad y colaboración. A los grupos de investigación Cultivos Andinos y Plan de Investigación Para el Fortalecimiento Integral de las Comunidades – PIFIL por su contribución económica y logística en el desarrollo del proyecto. A la profesora Cristina Luna, al profesor German Chaves y al profesor Marino Rodríguez por su apoyo, confianza y acompañamiento científico dedicado en todo el proceso del proyecto. Además, un agradecimiento muy especial al Doctor Hugo Ruíz Eraso por brindarme sus conocimientos y valores que han contribuido a mi formación científica y profesional.

Pedro Alexander Velásquez Vasconez

BIBLIOGRAFÍA

ALPI, A. y TOGNONI, F. 2010. CULTIVO EN INVERNADERO. Actual orientación técnica y científica. 3 ed. Madrid: Mundi-prensa, p. 13-16, 47-48, 55-78.

ALZATE, J.y LOAIZA, L.. 2008. Monografía del cultivo de la lechuga. En: Colinagro. Inteligencia en agroproducción. Bogotá - Colombia.

AMÉZQUITA, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Silva, F (ed.). Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de ciencias del Suelo. Santa Fé de Bogotá, Colombia. P. 137 – 154.

AMÉZQUITA, E.; MADERO, E.; JARAMILLO, R. y VIVEROS, R. 2002. Impacto físico de la intervención agrícola sobre un Vertisol del Valle del Cauca Colombia, Boletín de Suelos.

AÑEZ R. y TAVIRA D., E. M. 1981 “Aplicación de nitrógeno y de estiércol al cultivo de Lechuga (*Lactuca sativa* L.)” Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Universidad de Los Andes, Mérida. Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 14 p.

CASTILLA, N. 2007. INVERNADEROS DE PLÁSTICO. Tecnología y manejo. 2 ed. Madrid: Mundi-prensa. 25-30, 147-178, 237-252 p.

CASTRO (1998), GUERRERO (1990) y BERTSCH (2003). Citado en Castro, H. IV Hortalizas: Producción y fertilización de hortalizas en Colombia. Pag. 195-219. En: GUERRERO, R. Fertilización De Cultivos En Clima Frío. Monomeros Colombo Venezolanos. S.A. (E.M.A) Segunda edición. Impresión Saenz y Cia. Ltda. Santa Fe de Bogotá. Colombia. 1998. p. 425.

CHIMENTI S, C. 1999. Evaluación del efecto de una fertilización orgánica comparada con una mixta y convencional, en tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo invernadero. Universidad Mayor. Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Tesis Ingeniero Agrónomo. Santiago.

DEGIOVANNI, V., MARTINEZ, C y MOTTA, F. 2010. Producción Eco-eficiente del arroz en América Latina. Tomo 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. 1-24 p.

DOMÍNGUEZ, M. 2002. Evaluación de la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en época lluviosa bajo condiciones protegidas (microtúneles) en La Esperanza, Intibucá, Honduras. En: Informe técnico. Fundación hondureña de investigación agrícola FHIA, proyecto la esperanza. Lima, Cortes-Honduras. p. 15 – 20.

ECONOMAKIS, C. D. 1997. Effect of root-zone temperature on growth and water uptake by lettuce plants in solution culture. Acta Horticulturae 449(1): 199-203.

GIACOMELLI, G. 2009. Engineering Principles Impacting High-tunnel Environments. En: Horttchnology. Department of Agricultural and Biosystems Engineering, The University of Arizona, Tucson. p. 30-33.

GOTO, R.; M.M. ECHER, V.F.; GUIMARÃES, A.G.; CARNEIRO J.; R.B.F. BRANCO and J.D. RODRIGUES, 2000. Growth and production of thre lettuce cultivars under protected and open filed conditions. Rev. Hort. Bras., 20(2): 1-4 p.

HUNTER, B. L. 2010. "Enhancing Out-of-Season Production of Tomatoes and Lettuce Using High Tunnels". All Graduate Theses and Dissertations. Paper 811.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. 2004. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. Bogotá: IGAC. CD-ROM.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. En: Primer Curso Nacional de Hortalizas. Conferencias/El instituto. Mosquera. Bogota: ICA, 1996. 285 p.

JENSEN, M.H. 2000. Plasticulture in the global community: View of the past and future. Proc. 15th Intl. Congr. Plastics Agr., 29th Natl. Agr. Plastics Congr. Appendix A: 1–11

LAMONT, W. 2009. Overview of the Use of High Tunnels Worldwide. En: Horttechnology. Department of Horticulture, Pennsylvania State University, 206 Tyson Bldg., University Park, PA 16802. January–March 2009 19(1).

LARA C., y VALLEJO R. 2010. Respuesta de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Batavia a la aplicación de fuentes simples de N-P-K en dos zonas del altiplano de Pasto. Trabajo de Grado, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Nariño. p. 20.

LUNA, L. 2001. Producción, uso y manejo de bioestimulantes, abonos orgánicos, acondicionadores y biofertilizantes a partir de fuentes no convencionales. Programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria, PRONATA, CORPOICA, Málaga, Santander. Colombia. 60p.

MOORBY, J. and C. J. GRAVES. 1980. Root and air temperature effects on growth and yield of tomatoes and lettuce. *Acta horticulturae* 98: 29-44.

PÉREZ, R. y PIARPUEZAN, E. 2010. Efecto de tres caldos microbiales en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y repollo (*Brassica oleraceae* L. var. *capitata*) en el municipio de Pasto departamento de Nariño. Trabajo de Grado, Ingeniero Agrónomo. Universidad de Nariño.

PERRIN, R H. *et al.* 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CYMMYT. 54 p.

RADER, B. y KARLSSON, M. 2006. Northern Field Production of Leaf and Romaine Lettuce using a High Tunnel. En: Horttechnology. Department of plant, Animal and Soil Sciences, University of Alaska, Fairbanks. 649- 654 p.

RANDIN, B., C. REISSER J., R. MATZENAUER and H. BERGAMASCHI, 1999. Growth of lettuce cultivars conducted in cultivation protected and open Field.. *Hort. Bras.*, 22(2): 178-181.

RIPLEY, B.S., S.P. REDFERN and J. DAMES, 2004. Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient *Sorghum* by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. *South African J. Sci.*, 100(11): 615-618 p.

RUSSO, V y PAPPELIS, A. 1995. Senescence in sweet corn as influenced by phosphorous nutrition. Plant nutr. 18(4), 707-717 p.

SANTOS, F. B. G.; LOBATO, R.B.; SILVA, D.; SCHIMIDT, COSTA; G.A.R. ALVES y C.F. OLIVEIRA, N. 2009. Growth of Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) In Protected Cultivation and Open Field. Journal of Applied Sciences Research, 5(5): 529-533, INSInet Publication.

SEGOVIA, J.F.O.; J.L. ANDRIOLO.; G.A. BURIOL and F.M. SCHNEIDER. 1997. Comparison of the growth and development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in interior and exterior of a polyethylene chamber in Santa Maria. Ciência Rural, 27(1): 37-41 p.

SHEDLOSKEY, M. E. and J. W. WHITE. 1987. Growth of bedding plants in response to rootzone heating and night temperature regimes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112(2): 290-295 p.

VELÁSQUEZ, P. y CÁRDENAS, C. 2011. Efecto del incremento de CO₂ con tres niveles de fertilización sobre la productividad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Batavia cultivada en microtúneles. Proyecto de investigación. Universidad de Nariño. (Datos no publicados)

WELLS, O.S. 2000. Season extension technology. Proc. 15th Intl. Congr. Plastics Agr., 29th Natl. Agr. Plastics Congr. Appendix B: 1-7 p.

WELLS, O.S. and J.B. Loy. 1993. Rowcovers and high tunnels enhance crop production in the northeastern United States. HortTechnology 3:92-95 p.

CIBERGRAFÍA

AGRONET, 2012. Estadísticas agropecuarias. Disponible en línea: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/VerReporte.aspx>. Consultado: Enero 2013.

ALBRIGHT, L. 2004. Lettuce Handbook. Controlled Environment Agriculture. <http://www.cornellcea.com/Lettuce_Handbook/introduction.htm>. Consultado: Diciembre 2013

FOORD, K. 2004. High tunnel marketing and economics. Regents of the Univ. Of Minnesota. 21 November 2010. “<http://www.extension.umn.edu/distribution/horticulture/components/M1218-12.pdf>”